DIE NATURWISSENSCHAFTEN

18. Jahrgang | 7. November 1930 | Heft 45

Verbreitung, Schichtenfolge, Entstehung und Lagerungsformen der deutschen Zechsteinsalzlagerstätten.

Von E. Kühneweg, Beuthen O.-S.

1. Verbreitung.

Das Unglück, das sich vor einiger Zeit auf dem Kaliwerk Herzynia bei Vienenburg ereignet hat, drängt uns die Frage nach der Beschaffenheit und Entstehung der Salzlagerstätten auf. Zwischen den Gesteinen der in der Geologie als „Oberer Zechstein" bezeichneten Formation treten 600 und mehr Meter mächtige Steinsalzlager auf, die vorwiegend in Deutschland in ihrem oberen Teil 10—40 m mächtige Kalilager enthalten[1]. In den hannoverschen Salzhorsten tritt gewöhnlich noch ein jüngeres, etwa 8 m mächtiges Kalilager in der Salzfolge auf, das etwa 100—150 m über dem erwähnten Hauptkalilager liegt. Die ausländischen Salzvorkommen entbehren fast durchweg die wertvollen Kalisalze, wenn man von den jüngeren elsässischen Vorkommen absieht, die auf Grund des Versailler Vertrages von Deutschland an Frankreich abgetreten worden sind. Sonst geht zur Zeit nennenswerter Bergbau auf Kali nur in Polen, Rußland und Spanien um.

Die deutschen Salzvorkommen sind vornehmlich aus der Umrahmung des Harzes, dem hessisch-thüringischen Becken und der hannoverschen Gegend bekannt; sie erstrecken sich jedoch vom Niederrhein über Hamburg, Mecklenburg, Pommern, Posen bis nach Litauen und von der Unterelbe (Lieth in der Nähe von Altona) über Eisenach hinaus bis nach Bayern.

2. Schichtenfolge.

Zahlreiche Bergwerke und Salinen bauen diese ungeheuren Salzvorräte ab, davon allein über 50 die Kalisalze. Das älteste und bekannteste dieser Werke ist das von Staßfurt. Über seine geologischen Verhältnisse sei kurz folgendes gesagt: Unter dem die Tagesoberfläche bildenden unteren Buntsandstein mit seinen Rogensteineinlagerungen liegen zunächst rote und blaue Letten des oberen Zechsteins; darunter folgt ein etwa 40 m mächtiges Gips- und Anhydritlager, dann der sog. graue Salzton (8—12 m mächtig), ein dunkler, bituminöser, gips- und anhydrithaltiger Mergel. Erst hierunter beginnt das Salzlager, zu oberst unter einer dünnen Schutzdecke von NaCl die Kalisalze, darunter die Hauptmenge des Steinsalzes (Kochsalz). Innerhalb des Kalilagers unterscheidet man nach den vorherrschenden Salzen von oben nach unten die Carnallitregion, die Kieseritregion und die Polyhalitregion; während in den beiden ersten Regionen Lagen von Carnallit bzw. Kieserit mit Steinsalzlagen wechseln, besteht die Polyhalitregion aus Steinsalz mit dünnen Lagen von Anhydrit und Polyhalit. Das zu unterst liegende „ältere Steinsalz" erscheint durch in Abständen von 10—20 cm eingelagerte, 0,2—4,0 cm breite dunkle Schnüre deutlich geschichtet. Bei diesen Einlagerungen handelt es sich um Anhydritschnüre, die früher als Jahresringe angesprochen wurden, heute jedoch nach neueren Theorien als rhythmische Fällungen aus periodisch übersättigter Lösung aufgefaßt werden. Diese Zone wird auch als Anhydritregion bezeichnet. Unter dem älteren Steinsalz liegt der durchschnittlich 2 m mächtige Basalanhydrit.

Dieses klassische Profil der deutschen Salzlagerstätten ist schon unweit Staßfurt um ein oder mehrere Schichtenglieder reicher. So ist bei Vienenburg, Leopoldshall, Rüdersdorf und an vielen anderen Punkten noch ein jüngeres Steinsalzlager über den Kalisalzen entwickelt. Es wird durch den 40—90 m mächtigen Hauptanhydrit vom darunterliegenden grauen Salzton getrennt. Oft sind aber, z. B. bei der Gewerkschaft Wilhelmshall im Huy, nordwestlich von Halberstadt, grauer Salzton und Hauptanhydrit zum großen Teil nachträglich zerstört worden, so daß diese Schichtenglieder in manchen Bohrungen nicht nachgewiesen werden konnten. Das jüngere Steinsalz unterscheidet sich vor allen Dingen durch seine Reinheit vom älteren Steinsalz, es ist bitumenfrei und hat nur selten einen ganz geringen Anhydritgehalt. Im Harli bei Vienenburg und in den hannoverschen Salzhorsten liegt mitten in diesen 100—150 m mächtigen jüngeren Salzen ein etwa 8 m dickes jüngeres Kalilager. Nach oben hin wird die Salzfolge abgeschlossen durch den roten Salzton und den Grenzanhydrit.

Selbstverständlich gibt es örtliche Abweichungen von dem geschilderten Normalprofil; besonders schwanken die Mächtigkeiten, einmal infolge stratigraphischer Verschiedenheiten und andererseits infolge tektonischer Einflüsse.

3. Entstehung der Salzlager.

Die Entstehung dieser gewaltigen Salzlagerstätten ist von vielen Forschern untersucht worden. Die Salze müssen aus Wasser ausgeschieden worden sein. Genau studiert hat man diese

[1] Diese Kalisalze wurden früher als Abraumsalze bezeichnet, da man sie nicht zu verwerten wußte und abräumte. Seit etwa 30 Jahren betrachtet man sie jedoch als Edelsalze und gewinnt aus ihnen wertvolle Düngemittel, oft auch Jod und Brom, die für medizinische Zwecke verwendet werden.

Vorgänge an dem bedeutendsten russischen Salzsee, dem Eltonsee, dessen Wasser bei einem spezifischen Gewicht von 1,22—1,7 und einem Salzgehalt von 29% (vorherrschend $MgCl_2$, dann $MgSO_4$ und NaCl) eine konzentrierte Salzlösung darstellt. In der trockenen Jahreszeit scheiden sich am Boden und an den Rändern alljährlich $1^1/_2$—2 Millionen Zentner Salz aus; nur zur Zeit der Schneeschmelze ruht die Salzabscheidung. Die in den See mündenden Flüsse und Bäche bringen so viel Schlamm mit, daß sich am Boden des Sees eine deutliche Schlammschicht absetzt. Dies wiederholt sich jedes Jahr bei der Schneeschmelze, und es entsteht ein vielhundertfältiger Wechsel von Salz- und Schlammlagen; letztere stellen also Jahresringe dar. Abgesehen von dem im Wasser wenig löslichen Gips, scheidet sich ziemlich reines Kochsalz ab, während das viel leichter lösliche Magnesiumchlorid und Magnesiumsulfat in Lösung bleibt. Gegenwärtig finden Salzabscheidungen noch am Kaspischen Meer und am Toten Meer statt, vor allem aber in Binnenseen in Wüstengebieten.

Es tauchte die Frage auf, ob die Zechsteinsalze im Meer oder in einem Binnensee entstanden seien. Man mußte sich für das Meer entscheiden, da in den eingelagerten Tonen marine Fossilien gefunden wurden; außerdem sprechen Gips- und Jodvorkommen dafür. Diese Frage wurde zunächst von dem Italiener USIGLIO experimentell untersucht. Er verdampfte 1000 Teile Meerwasser. Erst nachdem das Wasser bis auf 533 Teile eingedampft war, begann die Ausscheidung von Fe_2O_3 (Brauneisenerz) und $CaCO_3$ (Kalkstein); bei 190 Teilen die von NaCl (Kochsalz) und Edelsalzen. Ehe eine nennenswerte Salzabscheidung eintritt, müssen also rund 81% des Wassers verdampft werden. Es könnte also eine erheblich größere Salzmenge im Meerwasser gelöst sein, als es tatsächlich der Fall ist. Unter solchen Umständen kann also auf offenem Ozean nirgends eine Sättigung des Wassers eintreten und deshalb eine Salzabscheidung in keinem mit dem Weltmeer in offener Verbindung stehenden Meeresteil stattfinden, wohl aber in großen Buchten des Meeres, die durch eine Landbarre vom eigentlichen Meer abgetrennt sind und keine Süßwasserzuflüsse haben. Ein ausgezeichnetes Beispiel für die Salzabscheidung in solch einem Meerbusen bietet der Karabugas oder Adschidarja, der an der Ostseite des Kaspischen Meeres in einem nahezu regenlosen Gebiet liegt und durch eine schmale sandige Nehrung vom Kaspisee getrennt ist. Nur an einer Stelle steht dieses Haff durch eine schmale, seichte Rinne mit dem Meer in Verbindung. Das Klima ist äußerst heiß und trocken; Süßwasserzuflüsse gibt es nicht; infolgedessen verdunstet das Wasser des Karabugas sehr schnell. Durch Zuflüsse aus dem Kaspischen Meer wird das verdunstete Wasser ersetzt. Da aber wegen der Landbarre in der erwähnten Rinne kein Wasser aus dem Haff zurückströmt und das aus dem Kaspisee nachströmende Wasser etwa 1,2% Salzgehalt hat, ist der Salzgehalt des Haffwassers allmählich bis auf 18% gestiegen, und am Boden des Karabugas setzen sich schon seit langer Zeit gewaltige Salzmassen ab. Das Kochsalz ist zum größten Teil schon ausgeschieden, so daß das Wasser jetzt gleich dem des Eltonsees eine gesättigte Mutterlaugenlösung darstellt. Jetzt wird überwiegend Glaubersalz (Na_2SO_4) ausgeschieden, und an den Ufern des Sees werden Gips und salzhaltiger Schlamm abgelagert. Unter ähnlichen Bedingungen müssen auch die Salzlager der Zechsteinzeit entstanden sein.

Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Salze ausgeschieden worden sind, hängt von dem Grad ihrer Löslichkeit in Wasser ab. Die am schwersten löslichen Salze fielen zuerst aus, die leichtlöslichen blieben am längsten in Lösung. Die Salzfolge untersuchte VAN 'T HOFF, indem er Meerwasser bei 25° verdunsten ließ. Er stellte folgende Reihenfolge der Salzausscheidungen fest: 1. Gips, 2. Anhydrit, 3. Stein- oder Kochsalz, 4. Reichardtit, 5. Reichardtit und Kainit, 6. Kainit, 7. Kieserit und Kainit, 8. Kieserit und Carnallit, 9. Kieserit und Carnallit und Bischofit.

Von 4 ab wurde stets auch Natriumchlorid ausgeschieden. In den permischen Salzlagern ist die Gruppe 7 nicht immer ausgeschieden worden, sondern ihre chemischen Bestandteile sind meist dem Polyhalit zugeführt worden.

VAN 'T HOFF erhielt bei seinen Versuchen mitunter nicht alle Salze, so z. B. nicht Kieserit, Langbeinit, Hartsalz u. a. Diese Salze wurden jedoch bei höheren Temperaturen als 25° erhalten. Manche Salze fallen nur bei ganz bestimmter Temperatur aus. Daraus folgerte VAN 'T HOFF: Die permischen Salze sind Ausscheidungen aus einem Meer, das einer erhöhten Temperatur ausgesetzt war. Bei der Ausscheidung spielte der Druck keine Rolle. Die Salze sind ein geologisches Thermometer, z. B. Hartsalz für 72°.

So hoch, wie VAN 'T HOFF die Temperaturen annimmt, sind sie nicht. Die höchsten Wassertemperaturen finden sich heute im Golfmeer und betragen etwa 36°. Einen See mit eigentümlichen Temperaturverhältnissen entdeckte man im Medwe-See in Siebenbürgen bei Szóvata. Dort stellte ein ungarischer Geologe Versuche an und fand, daß, wenn über Salzwasser eine Schicht von Süßwasser liegt, das Salzwasser viel stärker erwärmt wird als das Süßwasser, sobald eine Erhöhung der Lufttemperatur eintritt. Obwohl dadurch die hohen Temperaturen VAN 'T HOFFS erreicht werden, findet doch keine Salzausscheidung statt, weil sich Süß- und Salzwasser nicht mischen und durch die oben schwimmende Süßwasserschicht die Verdunstung des Lösungsmittels unterbunden wird. Die Salzlagerstätten werden also nicht primärer, sondern sekundärer Entstehung sein und zu ihrer Bildung keine höhere Temperatur als 25° benötigt haben.

So tief, wie man aus der großen Mächtigkeit der Salzlager (oft über 1000 m) folgern müßte,

wird das Zechsteinmeer nicht gewesen sein. Es kann sogar ein seichtes Meer gewesen sein, das sich in steter Senkung befunden hat. Diese Frage hat den Salzgeologen OCHSENIUS beschäftigt, der die oben geschilderten Verhältnisse am Karabugas studiert und mitgeteilt hat.

Bei der leichten Löslichkeit der Salze im Wasser ist es zunächst erstaunlich, daß sich die riesigen Salzlagerstätten durch die unendlich langen geologischen Zeiträume vom Zechstein bis zur Jetztzeit erhalten haben. Der Grund hierfür ist jedoch offensichtlich, denn über den Salzen liegt als schützende Decke der graue Salzton. Dieser sollte angeblich vom Winde in das Meer geweht und dort abgelagert worden sein. Das trifft jedoch nicht zu, denn nach erfolgter Salzausscheidung mußte nur die giftige $MgCl_2$-Lösung übriggeblieben sein, in der Lebewesen nicht existieren können. Andererseits sind aber im Salz Fossilien erhalten geblieben. Durch vorübergehende Senkung der Barre wird frisches Meerwasser eingedrungen und durch Regengüsse das tonige Schlammaterial eingespült worden sein. Später hob sich die Barre wieder und wirkte genau so wie vorher, so daß von neuem Anhydrit und Salze ausgeschieden werden konnten. Wo die jüngere Salzfolge vorhanden ist, steht sie demnach in keinem ursächlichen Zusammenhang mit der älteren. Als Schutzdecke liegt auf den jüngeren Salzen der rote Salzton.

4. Paläogeographische Verhältnisse.

Die deutschen Zechsteinsalze wurden also mitsamt den darunterliegenden Kalken und Dolomiten in einem wahrscheinlich ziemlich seichten Meerbusen abgelagert, der ganz Norddeutschland und einen Teil der Nord- und Ostsee umfaßte, aber nicht bis nach England reichte. Nach Osten zu wurde er durch eine Barre vom offenen Meer abgeschlossen, das sich vom Ural über das Donaugebiet und Kleinasien bis nach Sizilien erstreckte und den westeuropäischen Kontinent umbrandete. Diese Salzpfanne wurde von einem Land umgeben, das vorwiegend unter der Herrschaft von Trockenklima stand; dies wird durch buntgefärbte zeitliche Äquivalente über dem Rotliegenden bewiesen, die vom Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges und aus dem Schwarzwald bekannt sind. Es handelt sich hierbei um terrestre Bildungen. Außer dem Gebiet von Mittel- und Nordostdeutschland einschl. Baltikum ist keine derartige große Salzpfanne vorhanden. Land des Zechsteins ist dagegen weit verbreitet.

5. Lagerungsformen.

Die ursprünglich fast horizontal abgelagerten Salzschichten sind heute durchweg mehr oder weniger steil aufgerichtet. Es sind sog. Salzsättel und Salzhorste entstanden. Als Salzsättel gedeutete Lagerungsformen finden sich im subherzynen Becken zwischen Harz und Flechtinger Höhenzug, z. B. im Harli, wo von der Gewerkschaft Herzynia die Kalisalze abgebaut werden, ferner im Huy, in der Asse und im Dorm. Gekennzeichnet ist hier das Landschaftsbild durch mehr oder weniger lang aushaltende Höhenzüge, die sich 100—200 m über ihre Umgebung erheben und die von NW nach SO parallel zum Nordrand des Harzes verlaufen. Ihre Lage ist aus Fig. 1 zu

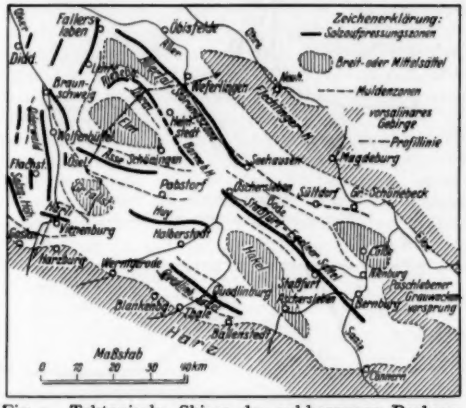


Fig. 1. Tektonische Skizze des subherzynen Beckens (im wesentlichen nach P. WOLDSTEDT).

ersehen. In den Höhenzügen sind die Salze mitsamt den gleichförmig darüberliegenden Deckgebirgsschichten (Buntsandstein bis Jura) sattelförmig aufgewölbt, wobei die Salzschichten, vor allem die Kalisalze, wegen ihrer größeren Plastizität, meist steiler aufgerichtet und stärker gefaltet sind als das Deckgebirge, während die im Salz eingelagerten Anhydritbänke im allgemeinen nicht mehr zusammenhängen und infolge ihrer Sprödigkeit zerrissen sind. In den Fig. 2—4 sind Schnitte durch verschiedene Salzsättel dargestellt. Wichtig ist die Tatsache, daß bei dieser Lagerungsform der Bau des Deckgebirges mit dem des

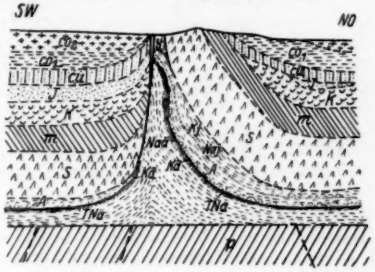


Fig. 2. Profil durch den Harli bei Vienenburg. p = präsalinares Grundgebirge. $Naä$ = Älteres Steinsalz. $Kä$ = Älteres Kalilager. TNa = Grauer Salzton. A = Hauptanhydrit. Naj = Jüngeres Steinsalz. Kj = Jüngeres Kalilager. y = Gipshut und verstürztes Deckgebirge. s = Buntsandstein. m = Muschelkalk. k = Keuper. J = Jura. cu = Untere Kreide. co_1 = Cenoman und Turon. co_2 = Emscher und Senon.

Salzes übereinstimmt. Überall wo heute die Salze dicht unter der Erdoberfläche anstehen, ist in der Längsrichtung der Höhenzüge eine sog. Sattelspalte festgestellt worden.

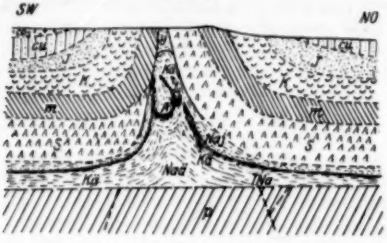


Fig. 3. Profil durch die Asse. Bezeichnungen wie in Fig. 2.

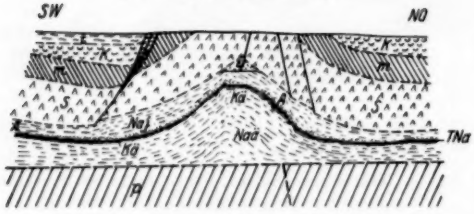


Fig. 4. Profil durch den Dorm bei Beienrode. t = Tertiär. Die übrigen Bezeichnungen wie in Fig. 2.

Diese Übereinstimmung zwischen Salz- und Deckgebirge fehlt bei den Salzhorsten, die wir z. B. im oberen Allertal und im norddeutschen Flachland antreffen. In den Salzhorsten ist das Salz aus dem stratigraphischen Verband mit dem Deckgebirge herausgelöst und durch Druck hoch hinauf mitten zwischen die jüngeren Deckgebirgsschichten gepreßt worden (s. Fig. 5). Die Salzschichten sind nicht nur viel stärker gefaltet als das Nebengebirge, sondern sie sind geradezu mäandrisch gewunden.

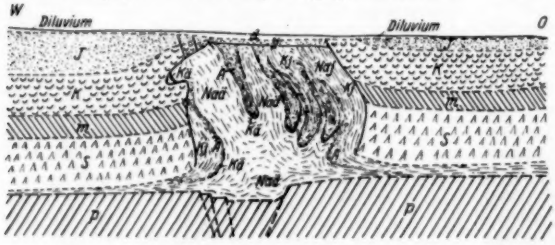


Fig. 5. Profil durch den Salzstock von Einigkeit bei Fallersleben (im wesentlichen nach WOLDSTEDT). d = Diluvium. Die übrigen Bezeichnungen wie in Fig. 2.

6. Entstehung der Lagerungsformen.

Die Entstehung dieser verschiedenen Lagerstättenformen, vornehmlich das Problem des Salzaufstieges aus der Tiefe in die jüngeren Schichten hinein, ist in den letzten 20 Jahren Gegenstand einer lebhaften Diskussion gewesen, an der sich viele namhafte Fachgelehrte beteiligt haben. Den Anstoß zu diesem Meinungsaustausch gab LACHMANN, der die Kräfte für den Salzaufstieg im Innern des Salzkörpers annahm; sie sollten durch Volumänderung infolge Umkrystallisation entstehen. Andere Autoren sind der Ansicht, daß horizontale Druckkräfte bei der Salzaufpressung den Ausschlag gegeben haben; infolge seiner Eigenschaft, unter Druck leicht plastisch zu werden, reagiert das Salz kräftiger als andere Gesteine auf von außen her wirkende Druckkräfte, und durch tangentialen Zusammenschub entsteht die „injektive Faltung" STILLES. Eine dritte Gruppe von Autoren sieht die Ursache für die Salzaufpressung in dem Gewicht des auf dem Salz lastenden Deckgebirges. Durch den Deckgebirgsdruck wird das Salz plastisch, und an den Stellen geringeren Widerstandes (z. B. Klüfte oder Sprünge im Deckgebirge) wird das Salz hochgepreßt.

Diese Theorien haben insofern eine Annäherung erfahren, als LACHMANN anerkannt hat, daß auch vertikale Kräfte (Aufpressung infolge Druck des Deckgebirges auf das Salz) mitgewirkt haben, während andererseits die Vertreter der Theorie der Salzaufpressung infolge Deckgebirgsdruckes die Möglichkeit zugegeben haben, daß auch horizontaler Druck bei der Salzaufpressung mitgewirkt hat; sie schreiben sogar einer unter tangentialem Druck erfolgten Faltung eine mitbestimmende Rolle für die erste Anlage unserer Salzstöcke zu. LACHMANNS Theorie vom autoplasten Salzaufstieg hat sich gegenüber den anderen Theorien nicht durchsetzen können, obwohl die Kräfte, die LACHMANN als alleinige Ursache des Salzauftriebes ansah, heute als mitwirkende Faktoren anerkannt sind.

Es steht fest, daß die Salzaufpressung begonnen hat, bevor die ältesten Schichten der Kreidezeit abgelagert worden waren. Deshalb werden von den verschiedenen Autoren entweder tangentiale Schub- oder tangentiale Zerrkräfte zur Zeit des obersten weißen Jura angenommen, in der das Deckgebirge des Salzes durch neuentstehende Spalten geschwächt wurde; in diesen Schwächezonen sind anschließend die Salze emporgepreßt worden.

In einer anderen Arbeit[1] hat der Verf. den „Mechanismus der Bewegungen im Salzgebirge des subherzynen Beckens und in seinen Deckschichten" behandelt und festgestellt, daß in diesem Gebiet, in dem auch die Vienenburger Lagerstätte liegt, bei Beginn des Salzauftriebes rund 2000 m Deckgebirge mit einem mittleren spezifischen Gewicht von 2,4 t/cbm über dem Salz lagen. Dieses übte einen Druck von 4800 t auf jeden Quadrat-

[1] Erscheint demnächst in der Z. „Kali".

meter der Salzoberfläche aus. Dieser Druck ist 5—8mal so groß wie die im Laboratorium ermittelten Fließdruckzahlen für Steinsalz; er reicht also aus, um das Salz des Untergrundes plastisch zu machen und unter gegebenen Verhältnissen aus mehreren hundert Meter Teufe emporzupressen. Bei solchem Überdruck befindet sich das Salz in einem ganz gewaltigen Spannungszustand und wird jedem durch Bewegungsvorgänge oder durch Abtragung des Deckgebirges gegebenen Anstoß folgen, um nach oben oder seitwärts wegzufließen.

Entstehen nun im Deckgebirge irgendwo Schwächezonen — sei es durch Verminderung der Deckgebirgsmächtigkeit infolge tiefgreifender Erosion, sei es durch Zerrüttung des Gesteinszusammenhanges, oder sei es infolge Verwerfung oder Zerrung durch orogenetische Kräfte —, so wird das Salz stets nach diesen Schwächezonen hinstreben und dort emporgepreßt werden. Zwischen zwei derartigen Salzaufpressungen wird unter dem Druck des Deckgebirges die Salzmächtigkeit immer geringer, und das Deckgebirge sinkt. Es sinkt jedoch — wie FRIEDRICH SCHUH zuerst dargelegt hat — nicht in der Mitte am tiefsten ein, sondern in unmittelbarer Nachbarschaft der Aufpressungszonen, und es bildet sich bei größerem Ausmaß der Deckgebirgsscholle ein Mittelsattel (s. Fallstein und Elm im Profil durch das subherzyne Becken, Fig. 6 und 7).

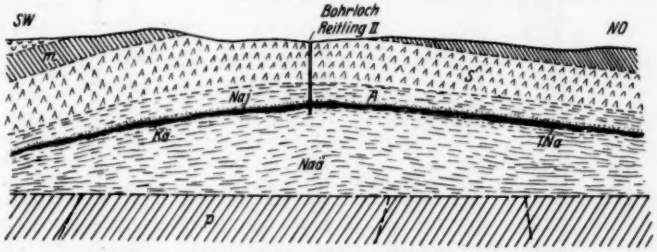


Fig. 6. Profil durch einen Mittelsattel, den Elm. (Nach der geologischen Spezialkarte.) Bezeichnungen wie in Fig. 2.

Da die Salzaufpressungslinien im subherzynen Becken Faltenbau zeigen, wird ihre Entstehung fast allgemein auf einen von SW nach NO wirkenden Druck zurückgeführt unter Mitwirkung des Auftriebes infolge Deckgebirgsdruckes. Nach Ansicht des Verfassers können diese Faltenbilder im Deckgebirge jedoch auch ohne seitlichen Druck entstanden sein. In fast allen Gesteinen kann man nämlich Kleinzerteilungen in horizontaler und vertikaler Richtung beobachten. Bei Sedimenten ist die Absonderung auf den Schichtflächen hinreichend bekannt, aber auch senkrecht zu den Schichtflächen findet man unzählige Spalten und Klüfte, die bald nur Haaresbreite besitzen, bald wenige Millimeter und bald ein oder mehrere Zentimeter breit sind. An diesen Vertikalklüften entlang hat nie eine Verschiebung größeren Ausmaßes stattgehabt. Sehr gut ist diese Zerklüftung des Gesteins im deutschen Muschelkalk zu beobachten, wo die Klüfte im Einfallen der Schichten und auch senkrecht dazu sehr zahlreich und relativ weit sind. Addiert man diese Spalten, so muß man eine beträchtliche Raumerweiterung des betreffenden Gesteinkomplexes durch Entstehung der Spalten und Klüfte feststellen. Nehmen wir an, daß auf 1 m die Gesamtweite der Vertikalklüfte (senkrecht zur Schichtfläche) eines Sedimentgesteins 1 cm betrage, so macht das für das 65 km breite subherzyne Becken 650 m aus.

Für die Entstehung der Klüfte kommen in erster Linie Spannungen im Gestein infolge zu großer Zug- und Druckbeanspruchung sowie Temperaturänderungen in Betracht. Es sei daran erinnert, daß die Festigkeit der Gesteine gegen Zug, Druck, Abscherung und Biegung im Vergleich zu den gewaltigen Kräften, die in der Erdrinde und im Erdinnern auftreten, ziemlich gering ist. Berücksichtigt man diese Tatsachen, so ist es erklärlich, daß bei der Salzaufpressung die starken Verbiegungen des Deckgebirges erfolgen können, ohne daß in den Mittelsätteln große Verwerfungen entstehen. Die einzelnen Bänke zerbrechen nämlich, falls das nicht schon früher geschehen ist, bei der Aufwölbung in sich.

Nehmen wir an, daß auf diese Weise die Faltenbilder im subherzynen Becken entstanden sind, so muß immer noch geklärt werden, wie und warum die Schwächezonen im Deckgebirge des Salzes gebildet worden sind. Diese Erklärung kann nur im Rahmen einer Gesamterklärung des subherzynen Beckens gegeben werden.

In der jungjurassischen Gebirgsbildungsphase sinkt das subherzyne Becken — vielleicht infolge Druckentlastung im Untergrund — schollenförmig nach SW ein; varistisches Grundgebirge, Salz- und Deckgebirge neigen sich nach SW, während sich das nordöstliche Schollenende, der Flechtinger Höhenzug, hebt. Eine entsprechende Kippbewegung macht die sich südlich anschließende Harzscholle, wobei der Harz emporgehoben worden ist. Da aber jede Bewegung über ihr Ziel hinausschießt, so werden nach einer vielleicht nur kurzen Ruhepause sowohl Harz als auch Flechtinger Höhenzug wieder etwas zurückgesunken sein. Dabei riß im Hinterland des Flechtinger Höhenzuges die Allertalspalte auf. Aus dem Gebiet südlich des Harzes ist eine ähnliche Zerrungszone bekannt.

Durch die Absenkung der subherzynen Scholle um 3 km werden die Gesteine der Scholle in einen

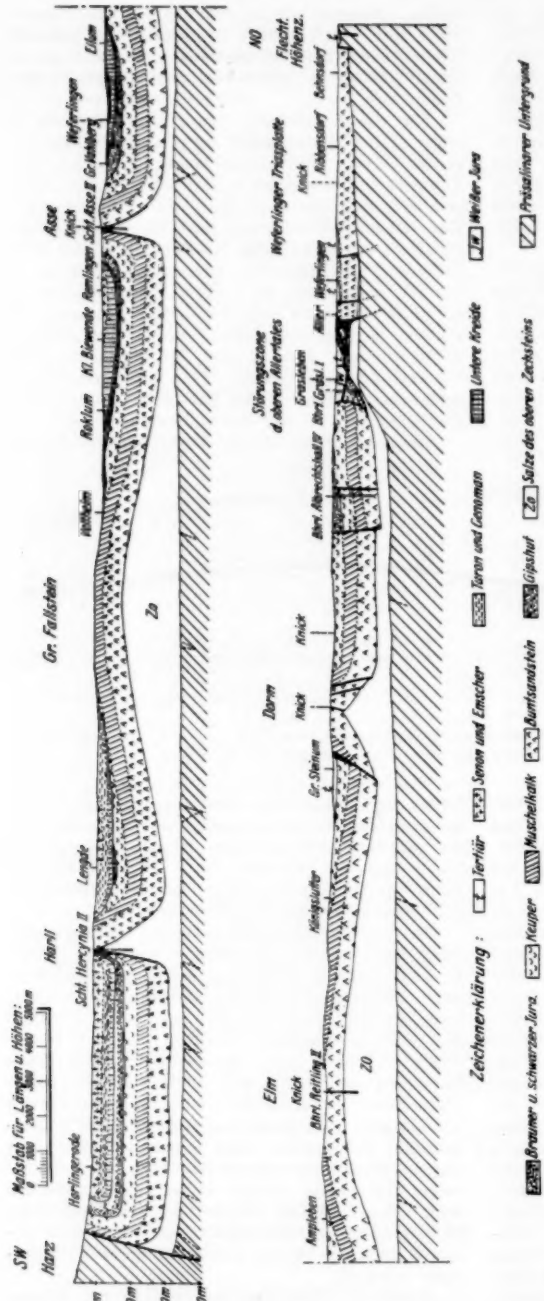


Fig. 7. Querprofil durch das subherzyne Becken.

engeren Raum eingezwängt und stark gepreßt. Ferner übte der Harz bei dem erwähnten Zurücksinken nach erfolgter Hebung einen Druck auf sein Vorland aus. Die Druckkräfte haben sicher eine Lockerung des Gesteinszusammenhanges und eine gewisse Zerrüttung der Schichten bewirkt. Es entstanden viele Spalten und Klüfte in den Gesteinen. Den Erosionskräften wurden Angriffspunkte und -flächen geschaffen, und allmählich wurde durch Auswaschung und Abtragung das Deckgebirge des Salzes an einzelnen Stellen derartig geschwächt, daß sich die eingeschlossenen, unter großem Überdruck befindlichen plastischen Salze mit Gewalt den Weg nach oben bahnen konnten. Solche Schwächezonen bildeten sich im subherzynen Becken z. B. dort, wo wir heute die Salzaufpressungslinien des Harlis, der Asse und des Dorms finden. Die Störungszone des oberen Allertales dagegen entstand in einer Zerrungsregion des Deckgebirges.

In den Aufpressungszonen und Mittelsätteln des subherzynen Beckens zeigt nicht nur das Deckgebirge Faltenbau, sondern auch die Kalisalze liegen sattelförmig. Dies ist kein Beweis dafür, daß das Faltenbild durch horizontal gerichteten Druck entstanden ist. Wie Verf. in der genannten Arbeit nachgewiesen hat, müssen auch bei der Salzaufpressung infolge Deckgebirgsdruckes die Schichten innerhalb des Salzkörpers sattelfömig aufgerichtet werden. Daß die Mächtigkeit der Kalisalze in den oberen Teilen der Aufpressungszone größer ist als auf den Flügeln, wo die Kalisalze stellenweise ganz fehlen, ist ohne weiteres zu erklären, wenn man bedenkt, daß der Fließdruck der Kalisalze geringer ist als der des Steinsalzes, und daß also die Kalisalze früher in Bewegung geraten als das Steinsalz. Bei der Bewegung werden die geringplastischen und die nichtplastischen Bestandteile der Salzlagerstätte, z. B. Kieserit, Gips und Anhydrit, von den plastischen Salzen mitgerissen und zerstückelt.

7. Der Salzspiegel.

Zum Schluß sollen im Hinblick auf die wahrscheinliche Ursache des Vienenburger Unglücks noch einige Mitteilungen über den Salzspiegel gemacht werden, dessen Entstehung eine Folgeerscheinung der Salzauslaugung ist. Die Salzauslaugung ist eine Erscheinung, die der an der

Erdoberfläche dauernd stattfindenden Gesteinsabtragung durch Wasser, Wind und andere Faktoren entspricht. Durch Tageswässer oder Grundwasser werden die Salzmineralien zum Teil aufgelöst und fortgeführt. Wegen des verschiedenen Verhaltens derselben dem Wasser gegenüber spielt sich die Auslaugung der Salzlagerstätten in folgenden drei Phasen ab:

1. Vorherrschend ziemlich rasche Beseitigung des Steinsalzes und der Kaliflöze, evtl. bis zu ihrem Verschwinden.

2. Vorherrschend Hydratisierung des Anhydrits, d. h. Umwandlung des Anhydrits in Gips.

3. Vorherrschend Gipsauflösung.

Die Auslaugung beginnt an der höchsten Stelle des Salzkörpers und schreitet an seinen Flanken abwärts, wobei sich eine nahezu glatte, söhlige Oberfläche des Salzes, ein sog. Salzspiegel, herausbildet. Über diesem entsteht ein Gipshut dadurch, daß alles Steinsalz ausgelaugt wird und nur Anhydrit übrigbleibt, der durch Wasseraufnahme in Gips übergeht. Später wird meist der Gips auch teilweise aufgelöst und vom Wasser weggeführt. Die Auslaugungserscheinungen wirken sich an der Erdoberfläche so aus, daß bei ziemlich schnell fortschreitender Salzauflösung eine große Senke entsteht, während die Auflösung von Gips im allgemeinen die Bildung von Erdfällen und Schlotten nach sich zieht. Mitunter stauen sich über dem Salzspiegel größere Mengen mit Salz gesättigten Wassers, Laugen, an, die eine große Gefahr für den Bergbau bedeuten, besonders dann, wenn der über den Salzen liegende Salzton und Hauptanhydrit durch tektonische Einflüsse oder bergmännische Aufschlüsse in seinem Zusammenhang gestört worden ist. Die Laugen fressen sich dann gewissermaßen durch das Salzgebirge durch, brechen gegebenenfalls in die Grubenbaue ein und verursachen dann ähnliche Katastrophen, wie wir sie jetzt auf dem Kaliwerk Herzynia bei Vienenburg erlebt haben.

Muskelkontraktion, chemische Kontraktur und Totenstarre.

Von EDGAR WÖHLISCH, Heidelberg.

Durch die Entdeckung von SCHWARTZ (1) und LUNDSGAARD (2), daß jodessigsäurevergiftete Muskeln befähigt sind, ohne Milchsäurebildung Arbeit zu leisten, scheint die alte Streitfrage, ob das Auftreten der Milchsäure als die letzte Ursache für die Verkürzung der Muskelfibrille bei der Kontraktion anzusehen sei, endgültig im negativen und damit im Sinne A. BETHES entschieden zu sein. In einem sehr interessanten Aufsatz hat BETHE (3) vor kurzem in dieser Zeitschrift diese jüngste wichtige Wendung in der Lehre von der Muskelenergetik einer eingehenden kritischen Betrachtung unterzogen. Er erwähnt dabei auch meine (4, 5) Auffassung vom Wesen der Milchsäureeinwirkung auf den Muskel. Diese geht insofern noch über BETHES eigene Lehre hinaus, als sie der Milchsäure nicht nur den Charakter der *physiologischen* Verkürzungssubstanz, sondern überhaupt die Fähigkeit, die Muskelfibrille in direkter Weise zur Verkürzung zu bringen, abspricht. Die tatsächlich an Muskeln bei der Einwirkung von außen her eindringender Säuren zu beobachtende Kontraktur deute ich als einen Effekt der Verkürzung des kollagenen Fasermaterials, das ja in jedem Skelettmuskel in mehr oder minder reichlicher Menge vorhanden ist. BETHE hält diese Auffassung nicht für bewiesen. Sie hat indes bereits vor einiger Zeit durch Untersuchungen an kollagenfreier Muskulatur von P. WEISS (6) eine überraschende, bisher in der Literatur nicht beachtete Bestätigung erfahren. Es ist danach meines Erachtens recht wahrscheinlich, daß gegenwärtig nicht nur die Lehre von der Muskelkontraktion, wie dies von BETHE bereits ausgeführt wurde, sondern auch die geltende Theorie der Totenstarre und anderer Kontrakturformen des Muskels einer eingehenden Revision bedarf, worauf im folgenden etwas näher eingegangen werden soll.

Als ich vor einigen Jahren mit eigenen Untersuchungen zur Physiologie des Muskels begann, glaubte ich unter dem Eindruck der Arbeiten von HILL und MEYERHOF an die Richtigkeit der Milchsäuretheorie der Muskelkontraktion und der Totenstarre. Diese Theorie erschien damals gut begründet, einmal, weil es den Anschein hatte, als ob bei der Muskelkontraktion und der Totenstarre *stets* Milchsäure gebildet werde, sodann weil die Tatsache der intensiven Verkürzung des Muskels in Säurelösungen den Schluß zu erlauben schien, daß eine gewisse Erhöhung der Wasserstoffzahl die Muskelfibrille zur Kontraktion zu bringen vermöge. Es war somit naheliegend, die Milchsäure als die „physiologische Verkürzungssubstanz" des Muskels im Sinne A. FICKS anzusprechen. Auch die Totenstarre wird nach der Säuretheorie bekanntlich als eine letzte Kontraktion des Muskels durch die postmortal gebildete und nicht wieder beseitigte Milchsäure aufgefaßt.

Gegen die Säuretheorie der Muskelkontraktion hat von jeher und anfänglich als einziger Forscher A. BETHE die Stimme erhoben. Seine Hauptargumente stammen aus dem Studium der chemischen Muskelkontrakturen, wie er dies in dem erwähnten Aufsatze in dieser Zeitschrift näher ausgeführt hat.

BETHE vertritt den Standpunkt, die Säuren besäßen zwar die Fähigkeit, die Muskelfibrille direkt zur Verkürzung zu bringen, jedoch könne die Milchsäure nicht als die unmittelbare Ursache für die Kontraktion des Muskels angesehen werden. Er nahm an (3), „daß die eigentliche chemische Umsetzung, die normalerweise die Zusammen-

ziehung bewirkt, wahrscheinlich zu einer Substanz führt, welche unter physiologischen Bedingungen überhaupt nicht faßbar sein kann, weil sie in den schnellen Muskeln in wenig mehr als $^1/_{1000}$ Sekunde wieder *verschwunden* — wie BETHE annimmt, zerfallen — *sein muß*". Dagegen hielt auch BETHE (7) in Übereinstimmung mit der allgemeinen Meinung die Totenstarre für eine Folge der Verkürzung der Muskelfibrille unter der Einwirkung der postmortal gebildeten Milchsäure, vor allem deshalb, weil die bei der Totenstarre erzielte Spannung nach seinen Feststellungen fast denselben Wert ergibt wie die Säureeinwirkung von außen.

Zweifel daran, ob tatsächlich die Säuren fähig wären, die Muskelfibrille zur Verkürzung zu bringen, sind, soviel ich sehe, niemals geäußert worden, anscheinend, weil die meines Erachtens sehr wichtigen Beobachtungen von ENGELMANN (8) aus dem Jahre 1874 über die Verkürzung der kollagenen Faser — Sehne, Fascie usw. — in Säuren und Alkalien gänzlich in Vergessenheit geraten waren. Denn aus den ENGELMANNschen vollständig richtigen Angaben und der Tatsache, daß jeder Skelettmuskel kollagenes Material in Form der Sehnenfibrillen teils an seiner Oberfläche, teils im Innern enthält, folgt mit zwingender Notwendigkeit, daß die Kontraktur, die ein Muskel in Säurelösungen erfährt, *mindestens teilweise* durch die Zusammenziehung seiner kollagenen Fasern bedingt sein muß. Da nun aber die Lehre von der Verkürzung der Muskelfibrille durch von außen her eindringende Säuren, die einen der Stützpfeiler der Säuretheorie der Muskelkontraktion bildete, auf Kontrakturversuchen am ganzen intakten Muskel, also an einem kollagenhaltigen Objekt, nicht aber auf Beobachtungen an isolierten kollagenfreien Muskelfibrillen beruhte, so ergab sich, daß für diese anscheinend so gut fundierte und nie bezweifelte Lehre nicht ein einziger stichhaltiger Beweis vorlag. Mit dem Zweifel an der Fähigkeit der Säuren, die Muskelfibrille bei Einwirkung von außen her zu verkürzen, war aber gleichzeitig der Zweifel an der Richtigkeit der Säuretheorie der Muskelkontraktion und der Totenstarre gegeben.

Die Frage nach dem Wesen der verschiedenen Arten der Muskelverkürzungen, die man bis dahin sämtlich auf die Kontraktion der Muskelfibrille selbst bezogen hatte, erweist sich nun bei Berücksichtigung der ENGELMANNschen Säure- und Alkalikontraktur der kollagenen Fibrille sogleich als äußerst kompliziert. Um die Übersichtlichkeit der Darstellung nicht leiden zu lassen, wird im folgenden die an sich sehr wichtige und interessante Alkalikontraktur des Muskels völlig unberücksichtigt bleiben, und es sollen nur solche Dinge erörtert werden, die mit der „Säuretheorie" in direktem Zusammenhang stehen.

Es stand jetzt, wenn man strenge Anforderungen an „Beweise" stellte, eigentlich fast nur mehr für die Muskel*kontraktion* fest, daß ihr eine Verkürzung der Muskelfibrille selbst zugrunde lag. Strittig konnte hier nur sein, ob diese Verkürzung auf Säureeinwirkung beruhte oder nicht. Dagegen bestand für alle mit Säurebildung verbundenen Kontrakturen, d. h. Dauerverkürzungen, des Muskels — und das sind bei weitem die meisten und wichtigsten, wie z. B. die Chloroform-, Äther-, Alkohol-, Coffeinkontraktur und vor allem die Totenstarre — die Möglichkeit einer Mitbeteiligung der kollagenen Faser. Ja, bei den Kontrakturformen, bei denen nach BETHES (7) Feststellungen nur eine im Verhältnis zur Tetanusspannung sehr geringe Kraft entwickelt wird — hierher gehört die Totenstarre —, hätte man jetzt sogar an eine alleinige Säurekontraktur der kollagenen Fasern denken können.

Um eine Lösung der angedeuteten Fragen anzubahnen, um vor allem Material zu gewinnen zur Entscheidung des Grundproblems: vermögen Säuren die Muskelfaser zu verkürzen? erschien mir zunächst eine Klärung gewisser thermodynamischen bzw. thermoelastischen Eigenschaften der in Rede stehenden Gewebe erforderlich. Als aufschlußreich erwies sich das Studium der Temperaturkoeffizienten der isometrischen Spannung, die bisher nur für die Muskelkontraktion selbst, dagegen weder für eine der chemischen Kontrakturen des Muskels noch für die Totenstarre oder die ENGELMANNsche Säurekontraktur der kollagenen Faser bekannt waren.

Meine zum Teil gemeinsam mit R. DU MESNIL DE ROCHEMONT ausgeführten Versuche (4, 5) ergaben für die Milchsäurekontraktur des Muskels und die des Kollagens ein übereinstimmendes Verhalten, insofern bei beiden die durch Säure erzielte isometrische Spannung mit steigender Temperatur zunimmt. Es weisen mit anderen Worten die beiden Kontrakturformen einen positiven Temperaturkoeffizienten der isometrischen Spannung auf, der rein physikalisch als Ausdruck der thermoelastischen Eigenschaften der betreffenden Materialien im Zustande der Säurekontraktur aufzufassen ist. Das geschilderte Verhalten ist schon an sich deshalb interessant, weil beide Kontrakturen vom normalen thermoelastischen Verhalten fester Körper abweichen: Wie leicht einzusehen, entspricht einem positiven Temperaturkoeffizienten der Zugspannung ein negativer thermischer Ausdehnungskoeffizient in Richtung der Spannung, während bekanntlich die bei weitem meisten Körper einen positiven Ausdehnungskoeffizienten aufweisen.

Es ist nun sehr auffällig, daß für die Muskelkontraktion von früheren Untersuchern, vor allem von BERNSTEIN (9) und neuerdings von R. WAGNER (10), die gegenteilige Abhängigkeit der Spannung von der Temperatur nachgewiesen wurde, wie bei den beiden von mir untersuchten Kontrakturarten: die isometrische Kraft der Muskelzuckung besitzt nämlich einen negativen Temperaturkoeffizienten der Spannung. Sollte die Auffassung zutreffen, daß auch dieser Koeffizient rein physikalisch zu deuten ist, wie BERNSTEIN und WAGNER

meinen, so spricht bereits das entgegengesetzte thermoelastische Verhalten der Muskelzuckung und der Milchsäurekontraktur des Muskels bis zu einem gewissen Grade gegen die Säuretheorie der Muskelkontraktion. Jedoch sind angesichts der außerordentlichen Kompliziertheit des Kontraktionsvorganges derartige Schlußfolgerungen mit einer nicht geringen Unsicherheit behaftet.

Einen negativen Temperaturkoeffizienten der isometrischen Spannung, also das gegenteilige Verhalten wie bei der Säurekontraktur des Muskels und der Sehne, konnte ich nun auch bei Muskeln im Zustande der Totenstarre nachweisen. In diesem Falle kann, soviel ich sehe, kein Zweifel bestehen, daß dieser Koeffizient als Ausdruck des thermoelastischen Verhaltens des totenstarren Muskels gedeutet werden muß, und es erscheint mir daher der Schluß zwingend, *daß wir die Totenstarre nicht als eine Säurekontraktur des Muskels auffassen dürfen*, wie dies die herrschende Lehre tut. Mit dieser war schon der 1914 von BETHES Schüler SCHWENKER (11) erhobene Befund schwer vereinbar, daß die Säureverkürzung des Muskels, wenn dieser erst einmal weiß geworden ist, sich im Gegensatz zur Totenstarre nicht wieder löst, unabhängig davon, ob man den Muskel in Säurelösung beläßt oder wieder in Ringerlösung bringt. Auch meine eigene Beobachtung, daß Muskeln nach Lösung der Totenstarre noch eine typische Säurekontraktur aufweisen, ist vom Standpunkt der Säuretheorie aus schwer verständlich. Es dürfte sich daher meines Erachtens *auch bei der Totenstarre um eine Verkürzung der Muskelfibrille durch ein bisher unbekanntes Stoffwechselprodukt handeln*, wie dies BETHE für den Fall der Muskelkontraktion von jeher angenommen hatte.

In schönster Übereinstimmung mit meiner Auffassung stehen nun die fast genau gleichzeitig veröffentlichten Ergebnisse, die im EMBDENschen Institut beim Studium der chemischen Veränderungen in der Muskulatur erhalten wurden. EMBDENS Schüler HABS (12) vermutete, „daß die Totenstarre nicht infolge der Säuerung, sondern trotz der Säuerung des Muskels eintritt", ein Standpunkt, der, wie EMBDEN (13) neuerdings nochmals betonte, durch die am bromessigsäurevergifteten Muskel gewonnenen Erfahrungen wesentlich gestützt wird. Es kann somit wohl nicht mehr zweifelhaft sein, daß die Säuretheorie der Totenstarre, ebenso wie die der Muskelkontraktion verlassen werden muß.

Hatte schon die Übereinstimmung der Säurekontrakturen des Muskels und der kollagenen Faser hinsichtlich des Vorzeichens ihrer thermischen Spannungskoeffizienten *nicht gegen* die Vermutung gesprochen, daß die Säurekontraktur des Muskels durch die Verkürzung der kollagenen Elemente zustande kommt, so ergaben weitere Versuche sichere Anhaltspunkte dafür, daß zum mindesten ein sehr beträchtlicher Teil der von Muskeln in Säurelösungen entwickelten Kraft auf die Kontraktion der kollagenen Fibrillen zu beziehen ist. So ließ sich zeigen (4), daß Muskeln, deren Myofibrillen nach Lösung der Totenstarre bereits vollständig zerstört sein müssen und die auf die wirksamsten kontrakturerzeugenden Mittel — Chloroform oder Erwärmen auf 38° C — nicht mehr reagieren, im Milchsäurebade noch beträchtliche Spannungen, ja nicht selten Spannungen von der gleichen Größe entwickeln wie vollständig frische Muskeln. Dies ist kaum anders deutbar, als daß die Säurekontraktur des Muskels nicht wie die Chloroformkontraktur und die Wärmekontraktur die Muskelfibrille, sondern ein sehr viel widerstandsfähigeres, die Totenstarre überdauerndes Material zum Substrat hat, eben die kollagene Faser. Auch aus dem Vergleich der Zeit-Spannungsdiagramme der Säurekontraktur des Muskels und der Chloroformkontraktur, die einen vollständig verschiedenen, sehr charakteristischen Verlauf aufweisen, ist zu schließen, daß mindestens ein sehr erheblicher Bruchteil der Spannung der Säurekontraktur des Muskels auf die Beteiligung des Kollagens entfallen muß, wie ich dies an anderer Stelle (4) an Hand der betreffenden Kurven auseinandergesetzt habe.

Irgendwelche Anhaltspunkte dafür, daß die Säuren außer der kollagenen Fibrille auch die Muskelfaser zu verkürzen vermögen, haben meine Versuche nicht ergeben. Andererseits halte ich selbst die angeführten Argumente nicht für einen strengen Beweis meiner Vermutung, daß die Säuren der Muskelfibrille gegenüber vollständig unwirksam sind, sondern lediglich für eine recht wahrscheinliche Extrapolation.

Mit Sicherheit entscheiden läßt sich die Frage wohl nur durch Kontrakturversuche an kollagenfreien Muskelfibrillen. Mir selbst war ein hierfür geeignetes Material nicht bekannt. Indes wurden derartige Versuche sehr bald nach meinen Veröffentlichungen von P. WEISS (6) beschrieben, der an der Schwanzmuskulatur der Larve von Ciona intestinalis experimentierte, und zwar mit genau dem Erfolge, der nach meiner Auffassung vom Wesen der Säurekontraktur des Muskels zu erwarten war.

WEISS schildert den Bau des Schwanzes dieser nur wenige Stunden alten Larven folgendermaßen: „Die Chorda bildet die Achse, ein einschichtiges Epithel die äußere Begrenzung. Dazwischen liegt, abgesehen von einem Strang Nervenzellen und einem Strang Entodermzellen, die ‚Muskulatur'; das sind mehrere in einer einzigen Schicht aneinander gelagerte, länglich sechseckige Muskelzellen, die an ihrer Außenseite zu schräg verlaufenden Fibrillen differenziert sind. Außer den beschriebenen Bildungen enthält der Schwanz nichts. Es fehlt demnach offenbar auch jede Spur von ‚Bindegewebe'." Die nur etwa 1 mm langen Tiere schwimmen während des nur nach Stunden zählenden Larvenstadiums lebhaft im Seewasser herum. Ihr Bewegungsorgan, der lange dünne Schwanz, enthält demnach eine offenbar durchaus funktionstüchtige Muskulatur. WEISS konnte nun nach-

weisen, daß an dieser Muskulatur das Chloroform die bekannte, sehr intensive Kontraktur erzielt, während Essigsäure der verschiedensten Konzentrationen in dieser Hinsicht vollständig wirkungslos ist. WEISS selbst hält seine Versuche gleichsam für ein „Experimentum crucis" zugunsten meiner Auffassung vom Wesen der Säurekontraktur des Muskels.

Haben die Säuren nicht die Fähigkeit, die Muskelfibrille zur Verkürzung zu bringen, so bleibt uns für die Deutung des Vorganges der Muskelzuckung nur die Annahme einer nicht säureartigen, einstweilen unbekannten physiologischen Verkürzungssubstanz. Dies aber war von jeher die Lehre BETHES, die somit durch die Konvergenz der Befunde von SCHWARTZ und LUNDSGAARD sowie von P. WEISS und mir eine vollständige und wohl definitive Bestätigung erhält.

Der von BETHE (3) in Zusammenhang mit meiner Auffassung der Säurewirkung erwähnte Befund, daß die Säurekontraktur durch Reizung gefördert wird, spricht allerdings dafür, daß in diesem Falle auch die Muskelsubstanz an der Kontraktur beteiligt ist. Nur scheint mir daraus nicht zu folgen, daß diese Beteiligung für eine direkte Einwirkung der Säure auf die Muskelfaser spricht. Der Versuch läßt sich auch von meinem Standpunkte aus zwanglos deuten: ich vermute hier eine Summation der Effekte der Kollagenkontraktur durch die eindringende Säure und der Verkürzung der Muskelfasern durch die bei der Reizung gebildeten kontraktionserzeugenden unbekannten Stoffwechselprodukte.

Literatur.

1. A. SCHWARTZ u. OSCHMANN, C. r. Soc. Biol. Paris **91**, 275; **92**, 169 (1925). — 2. E. LUNDSGAARD, Biochem. Z. **217**, 162 (1930). — 3. A. BETHE, Naturwiss. **18**, 678 (1930). — 4. E. WÖHLISCH, Verh. physik.-med. Ges. Würzburg, N.F. **52**, 90 (1927). — 5. E. WÖHLISCH, Z. Biol. **87**, 353 (1928). — E. WÖHLISCH u. R. DU MESNIL DE ROCHEMONT, Z. Biol. **87**, 364 (1928). — 6. P. WEISS, Biol. Zbl. **48**, 387 (1928) — Z. vergl. Physiol. **9**, 665 (1929). — 7. A. BETHE, Pflügers Arch. **199**, 491 (1923). — 8. ENGELMANN, Pflügers Arch. **8**, 95 (1874). — 9. I. BERNSTEIN, Pflügers Arch. **122**, 129 (1908). — 10. R. WAGNER, Z. Biol. **84**, 373 (1926). — 11. SCHWENKER, Pflügers Arch. **157**, 443 (1914). — 12. H. HABS, Hoppe-Seylers Z. **171**, 40 (1927). — 13. G. EMBDEN, Klin. Wschr. **9**, 1327 (1930).

Fortschritte der Braunkohlen-Technik.

Die Bedeutung der Braunkohle als Brennstoff hat durch die Verhältnisse des Krieges in Deutschland eine außerordentliche Steigerung erfahren. Dieser Umstand hat dazu beigetragen, daß Verbesserungen auf den Gebieten der Gewinnung sowohl wie auch auf denen der Verwertung entstanden sind, in einem Maße, wie sie in anderen Ländern als Deutschland nicht angetroffen werden. In der Tat kann man die gesamte neuere Braunkohlentechnik als eine deutsche Technik bezeichnen, die Vorbild für das Ausland ist. Ihre Erfolge drücken sich nicht nur darin aus, daß die Braunkohle auch nach dem Kriege in Deutschland als Brennstoff an Bedeutung eher zugenommen als abgenommen hat, sondern auch darin, daß viele Ergebnisse der speziell für die Braunkohle unternommenen Forschungen auch für andere Zweige der Industrie wertvoll geworden sind.

Was zunächst die ***Gewinnung der Braunkohle*** anbelangt, so zielten die Bestrebungen hauptsächlich darauf ab, die Kosten zu vermindern, die, bezogen auf 1 t Rohkohle, das Hereinbringen bis zur Verwendungs- oder Verarbeitungsstelle verursacht. Da die Braunkohle in Deutschland vorwiegend im Tagebau gewonnen wird, so bedingt ihr Hereinbringen in erster Linie auch das Hinwegräumen des über der Kohle lagernden Erdreichs, wodurch die zu bewegenden Massen bedeutend erhöht werden. Dieser sog. Abraum muß nicht nur abgebaut, sondern auch von der Grube fortgeschafft und an geeigneter Stelle abgelagert werden.

Die Probleme, die sich hierbei dem Ingenieur boten, waren somit in der Hauptsache Verladeprobleme, allerdings von bis dahin ungekannten Dimensionen. Man hat die Kosten, die dadurch entstehen, mit Erfolg gesenkt, indem man die Leistungsfähigkeit der dafür verwendeten Maschinen gesteigert und den gesamten Gang der Arbeiten vom Abgraben bis zum Ablagern auf der Halde völlig automatisch gestaltet hat. So verwendet man heute zum Abgraben des Erdreiches auf Raupenketten laufende, zumeist elektrisch betriebene Bagger mit Eimern, die jeder 800 l Erde auf einmal fassen können. Diese Bagger laden das Erdreich auf Eisenbahnwagen von mehr als 80 cbm Inhalt oder sofort auf lange Verladebrücken, auf denen das Gut mit Hilfe von breiten Gummi-Förderbändern unmittelbar über der Halde abgeworfen wird.

Eine der bekanntesten Verladebrücken dieser Art ist die von der Aktien-Gesellschaft Lauchhammer für die Friedländergrube bei Mückenberg erbaute Abraum-Förderbrücke. Sie verladet stündlich etwa 2100 cbm Abraum auf eine Entfernung von 400 m und enthält für die verschiedenen Antriebe die Kleinigkeit von 81 Drehstrommotoren mit einer Gesamtleistung von 3560 kW. Eine andere große Abraum-Förderbrücke auf der Grube Werminghoff hat eine Länge von 260 m und kann stündlich 1500 cbm gewachsenen Boden fördern. Diese Anlage ist von der Allg. Transportanlagen-Ges. erbaut, ebenso wie die für die Grube Böhlen bei Leipzig, die eine Entfernung von etwa 300 m bewältigt und nach dem Ausbau auf volle Leistung stündlich etwa 2000 cbm befördern soll.

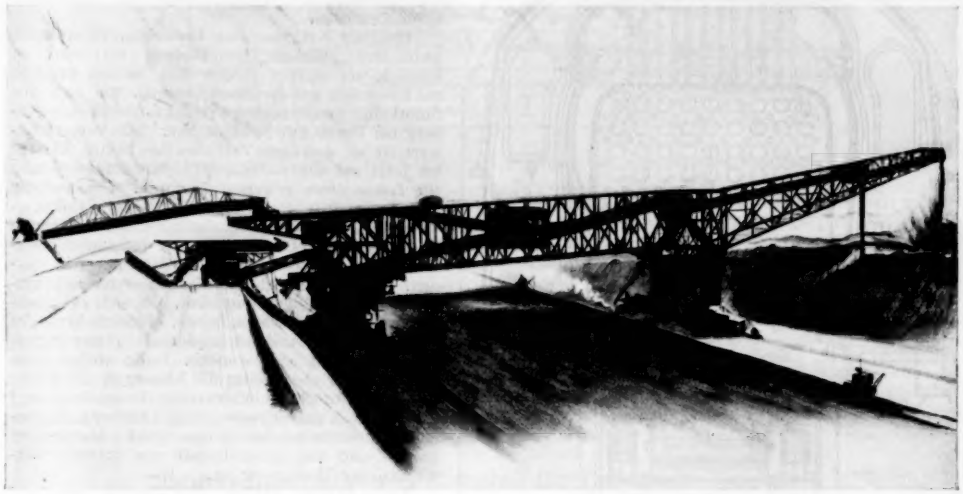
Auch bei der Förderung der eigentlichen Rohkohle drückt sich der Fortschritt in der Zunahme der Leistungsfähigkeit der Fördermittel aus. Welche wirtschaftliche Bedeutung die Verbesserung der Fördermittel für die Kohle hat, kann man daraus ersehen, daß auf 1 t Braunkohle bei Verwendung der alten Kettenbahnen und kleinen Wagen an reinen Betriebskosten der Förderung 0,22 RM., dagegen bei Verwendung von elektrisch betriebenen Bahnen mit Großraumwagen nur 0,095 RM. entfallen. Allerdings erfordert der Kapitaldienst bei der elektrischen Bahn größere Beträge, so daß sich die Förderkosten einschließlich der Kapitalkosten bei Kettenbahnen auf 0,28 und bei elektrischen Bahnen auf 0,21 RM. belaufen. Der Unterschied ist also vermindert, beträgt aber immerhin noch etwa 25% zugunsten des neuzeitlichen Fördermittels. Da die Gesamtförderung an Braunkohle in Deutschland im Jahre 1929 etwa 118 Mill. Tonnen betragen hat, so hat auch dieser Unterschied noch viel zu bedeuten.

Von der gesamten Ausbeute an Braunkohle wird heute noch immer etwa der vierte Teil *zu Briketts verarbeitet*, die vorwiegend im Hausbrand Verwendung finden. Die Verbesserung der Briketterzeugung hat daher schon stets eine große Rolle gespielt. Durch planmäßige Forschungen ist es hier namentlich gelungen, die günstigsten Beziehungen zwischen dem Kraftverlauf während des Pressens, der Feuchtigkeit der Brikettkohle und den Festigkeitseigenschaften des fertigen Briketts zu ermitteln, was für die Materialverluste beim Transport der Briketts und für den Energieverbrauch der Brikettfabriken von großer Bedeutung war. Die überragende Bedeutung des Wassergehaltes der in die Presse wandernden Rohbraunkohle hat dabei zur Folge gehabt, daß man Geräte entwickelt hat, die gestatten, den Wassergehalt der von der Presse gelieferten Briketts durch Messung ihrer elektrischen Kapazität alle 2 Minuten selbsttätig aufzuzeichnen, so daß jetzt die unbedingte Gleichmäßigkeit der erzeugten Briketts in viel höherem Maß gesichert wird.

In neuerer Zeit hat gerade die große Braunkohlen-Brikettindustrie in Deutschland die Aufmerksamkeit weiter Kreise durch die Erkenntnis erregt, daß es möglich wäre, durch Steigerung des Druckes des in diesen Fabriken verbrauchten Dampfes fast ebensoviel Kraft zu gewinnen, wie heute die gesamten deutschen Elektrizitätswerke Deutschlands liefern. In den meisten Brikettfabriken wird nämlich heute der Dampf mit etwa 15 Atmosphären Überdruck in den Kesseln erzeugt. Dieser Dampf arbeitet zunächst in den Zylindern der Brikettpressen und wird hierbei auf etwa 3,5 Atm. entspannt. Mit diesem Druck gelangt sodann der Dampf weiter in die Heizmäntel der Trockner, die dazu dienen, die grubenfeuchte, bis zu 45% Wasser enthaltende Rohkohle auf den für das Brikettpressen notwendigen Wassergehalt von höchstens 15% zu trocknen.

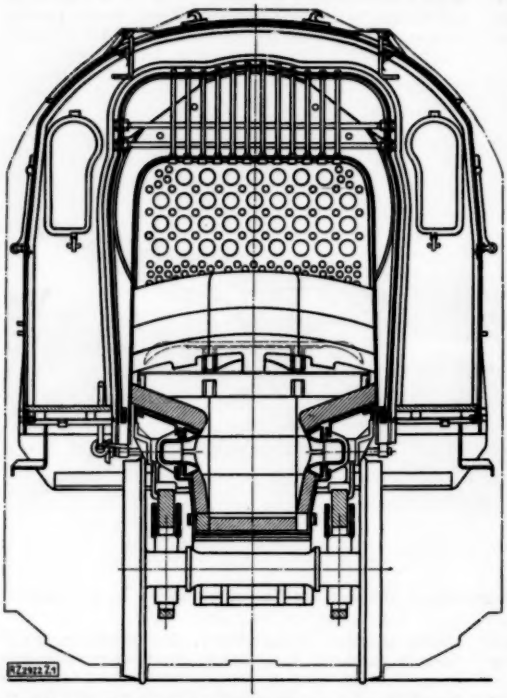
Man könnte nun, ohne daß der Gesamtaufwand an Wärme wesentlich größer wäre, den Dampf anstatt mit 15 Atm. mit 100 Atm. erzeugen und die Druckspanne zwischen 100 und 15 oder gar zwischen 100 und 3,5 Atm. in Turbinen ausnützen, die elektrischen Strom erzeugen. Dabei würde der Wärmeaufwand für die Einheit der erzeugten elektrischen Arbeit, der sonst selbst bei den besten Dampfkraftwerken mit Kondensationsbetrieb wenigstens 3500 kcal/kWh beträgt, mit kaum 2000 kcal/kWh, also einem außerordentlich günstigen Wirkungsgrad gedeckt werden können.

Allerdings ist der Verbrauch an Brennstoffwärme nicht alles, was die Kosten der erzeugten Kraft bestimmt, vielmehr kommen noch hinzu die Kosten des Kapitals, das man für die neue Hochdruckanlage, Kessel und Turbine, aufwenden muß. Immerhin hat man aber heute schon so viele Erfahrungen mit Hochdruck-Dampfanlagen gesammelt, daß es die Ilse-Bergbau-Gesellschaft wagen konnte, auf ihrer Grube Renate bei Senftenberg einen Erstversuch dieser Art in praktischer Größe zu unternehmen. Zur Erweiterung der dort vorhandenen Kesselanlage für 13 Atm. Betriebsdruck sind im Anfang dieses Jahres zwei Kessel aufgestellt worden, die jeder in der Stunde 70—80 t Dampf von 120 Atm. erzeugen können. Dieser Dampf treibt zwei Turbodynamos von je 12000 kW Leistung, bevor er mit 13 Atm. in die vorhandene Leitung der Brikettpressen oder mit 4,5 Atm. in die Trockner der Brikettfabrik gelangt. Bei vollem Betrieb kann also die Anlage 24000 kW an elektrischer Leistung hergeben, die nicht gewonnen worden wären, wenn man, wie bisher und mit etwa dem gleichen Aufwand an Kohlen, den Dampf wieder mit 13 Atm. erzeugt hätte. Das neue Hochdruck-Dampfkraftwerk, dessen Kessel die Hannoversche Maschinenfabrik und dessen Turbodynamos die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft geliefert hat, ist seit Mitte d. J. im Betrieb und hat sich durchaus betriebssicher und wirtschaftlich gezeigt. Man kann erwarten, daß diesem ersten Versuch bald weitere folgen werden, womit ein außerordentlich großer Fortschritt in der Wärmewirtschaft der Krafterzeugung erreicht wäre.



Abraum-Förderbrücke der Friedländergrube bei Mückenberg, erbaut von der Aktiengesellschaft Lauchhammer.

Abgesehen von der Brikettierung kommt die Braunkohle, so wie sie aus der Grube gefördert wird, auch für die *Verfeuerung unter Dampfkesseln* in Frage. Die Schwierigkeiten, die diese Art von Feuerungen seit jeher geboten haben, bestehen einmal darin, daß wegen des gegenüber der Steinkohle bedeutend niedrigeren Heizwertes der Rohbraunkohle für einen Kessel von einer gegebenen Verdampfleistung wesentlich größere Mengen verbrannt werden müssen, also große Roste notwendig sind. Dazu kommt, daß die Regelung solcher Feuerungen besondere Maßregeln verlangt, weil die Rohbraunkohle nicht nur viel Wasser und Verunreinigungen, namentlich Sand enthält, die ihre Heizkraft beeinträchtigen, sondern auch hinsichtlich des Anteils



Querschnitt durch die Feuerkammer einer Kohlenstaub-Lokomotive mit Feuerung nach dem System der Allg. Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin.

dieser Verunreinigungen stark veränderlich ist. Infolgedessen kann es leicht vorkommen, daß das Feuer plötzlich zu schwach wird, wenn sich die Kohle nach der ungünstigen Seite hin verändert.

In der Hauptsache hat man diese Schwierigkeiten schon während des Krieges durch Entwickeln besonders großflächiger und selbsttätig beweglicher Treppenroste überwunden. Der Fortschritt der Feuerungstechnik, der sich hierbei ergab, war aber so wichtig, daß man die Aufgabe auch nach dem Kriege weiter verfolgt hat. Es ist dabei gelungen, die Leistungsfähigkeit der Feuerungen so zu steigern, daß man sie an Kesseln von jeder Größe verwenden kann. Natürlich gilt auch hier wieder das Wort, daß es letzten Endes bei den Kosten der Krafterzeugung nicht nur darauf ankommt, was die verbrauchte Kohle kostet, sondern auch darauf, wieviel Kapital man in die Feuerung stecken muß. Es kommt dazu, daß sich die in der Rohbraunkohle steckende Wärme erheblich verteuert, wenn man die Kohle aus größerer Entfernung zuführen muß. Immerhin haben die erwähnten Fortschritte einer ganzen Reihe deutscher Großkraftwerke ermöglicht, ihre Anlagen direkt „auf die Kohle" zu setzen und so ihre Brennstoffkosten außerordentlich zu vermindern. Das größte Werk dieser Art und sicher das größte Braunkohlen-Kraftwerk überhaupt ist das Werk Zschornewitz der Elektrowerke A.-G., das einen erheblichen Teil der Berliner Stromversorgung zu übernehmen hat und heute mit 170000 kW Turbinenleistung die größte deutsche Kraftanlage ist. Versuche an einem Dampfkessel von 1000 qm Heizfläche in diesem Kraftwerk haben auch die außerordentliche Leistungsfähigkeit der dort verwendeten Rostfeuerungen für Rohbraunkohle bewiesen.

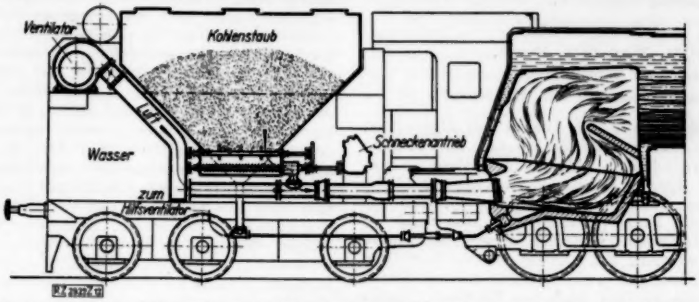
Daneben hat aber das Bedürfnis, Braunkohle unter den größten Dampfkesseln verfeuern zu können, vor einigen Jahren den Anstoß gegeben zu *Versuchen mit der Staubfeuerung*, die sich für Steinkohle namentlich im Großkraftwerk Klingenberg bei Berlin gut bewährt hat. Sehr bemerkenswert ist es, daß diese Versuche ihre besten Erfolge bis jetzt auf dem Gebiete der Kohlenstaubfeuerung *für Lokomotiven* erweisen konnten. Gegenwärtig befinden sich in Halle a. S. zwei Güterzuglokomotiven der Deutschen Reichsbahn mit Staubfeuerung in regelmäßigem Dienst, während demnächst 7 weitere Lokomotiven der gleichen Art eingestellt werden. Man kann sagen, daß dies die ersten Lokomotiven mit Staubfeuerung sind, die sich im praktischen Betrieb bewährt haben, obgleich Versuche dieser Art im Ausland wiederholt unternommen und wieder eingestellt wurden. Dabei stellen diese Lokomotiven gleichzeitig die Lösung des Problems dar, die deutsche minderwertige Braunkohle auf Lokomotiven zu verfeuern, eines Problems, das bekanntlich während des Krieges nicht gelöst werden konnte und das unzweifelhaft von größter wirtschaftlicher Bedeutung ist.

Diese Erfolge werden ohne Zweifel auch auf das Ausland wirken, namentlich auch auf Rußland, wo man sich sehr eingehend mit der Verwertung von Torf beschäftigt. Von Interesse ist noch, daß die deutschen Arbeiten gleich zwei Lösungen ergeben haben, die sich, soweit bis jetzt bekannt, gleich gut bewähren. Das eine System, das die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft allein entwickelt hat, kennzeichnet sich durch eine besondere Form des Brenners. Bei dem anderen System wird dagegen eine Brennerdüse von üblicher Form verwendet. Die Arbeiten an diesem System werden von einer Studiengesellschaft geführt, der die bekannten Lokomotivenfabriken Borsig, Hanomag, Krupp und Schwartzkopff sowie der Deutsche Braunkohlen-Industrie-Verein und die Braunkohlen-Syndikate angehören.

In einigem Gegensatz zu diesen Erfolgen steht die Tatsache, daß die Verfeuerung von Braunkohle in Staubform bei den Kesseln der Elektrizitätswerke nicht so große Fortschritte gemacht hat, wie man zunächst gehofft hatte. Bis jetzt ist erst ein Großkraftwerk, das von Böhlen bei Leipzig, für Braunkohlenstaubfeuerung eingerichtet, doch sind anscheinend die bisherigen Erfahrungen dort nicht so günstig, daß das Beispiel nachgeahmt worden wäre. Die Erklärung dürfte darin liegen, daß das Vermahlen, von anderen

Schwierigkeiten abgesehen, bei der feuchten Rohbraunkohle zu hohe Kosten verursacht, so daß man billigere Wege einschlägt, um die gewünschte Steigerung der Leistung zu erzielen.

Neuerdings hat aber Prof. Dr.-Ing. ROSIN ein sehr billiges Mahlverfahren vorgeschlagen und untersucht, das dazu beitragen kann, dieses Hindernis zu beseitigen. Das Verfahren gründet sich auf Forschungen, die ROSIN gelegentlich seiner Arbeiten auf dem Gebiete der Kartoffeltrocknung angestellt hat, und beruht darauf, die



Allgemeine Anordnung der Lokomotiven-Kohlenstaubfeuerung mit dem System der Studiengesellschaft.

Kohle in schwebendem Zustand mittels der heißen Kesselrauchgase zu trocknen, die in einem stehenden Rohrsystem der niedersinkenden Kohle mit großer Geschwindigkeit entgegengeführt werden. Hierbei nehmen die Gase die feinen Kohlenteilchen mit, die nachher in einem Zyklon abgeschieden werden, während die groben Teile der Kohle in eine Zerkleinerungsvorrichtung fallen und nach Durchgang durch diese Vorrichtung abermals dem Gasstrom entgegengeführt werden. Versuche mit einer Rohbraunkohle von 52% Wassergehalt haben ergeben, daß das Trocknen auf 12,7% Feuchtigkeit weniger als eine Minute dauert. Ein ganz besonderer Vorteil des Verfahrens ist aber, daß der gewonnene Kohlenstaub sofort verfeuert werden kann. Es entfallen daher die sonst notwendigen Bunker und langen Leitungen, die bisher wiederholt zu gefährlichen Explosionen Anlaß gegeben haben.

Als die letzte Stufe in der Verwertung der Braunkohle kann man die *Krafterzeugung unmittelbar im Motor* ansehen. Seit einigen Jahren beschäftigt sich der deutsche Ingenieur R. PAWLIKOWSKI, Görlitz, mit Versuchen, Staub von Braunkohle unmittelbar in einem Dieselmotor zu verbrennen. Diese Versuche haben bis jetzt bewiesen, daß es unzweifelhaft möglich ist, auf diesem Wege Kraft zu erzeugen, also auch bei der Kohle den Umweg über die Wasserverdampfung zu sparen, was bisher nur bei flüssigen Brennstoffen möglich war. Allerdings ist es bis jetzt noch nicht gelungen, einen solchen Motor einwandfreien Dauerversuchen zu unterwerfen, die die Frage klären müßten, ob es gelingt, die unvermeidlichen Rückstände der Verbrennung so vollständig aus dem Zylinder zu entfernen, daß der Motor nicht zu schnell abgenützt wird. Immerhin beweisen diese Versuche, daß die Möglichkeiten, die Krafterzeugung aus Braunkohle zu verbessern, noch lange nicht erschöpft sind. H.

Dritter Internationaler Kongreß für Technische Mechanik vom 24. bis 29. August in Stockholm.

Von TH. PÖSCHL, Karlsruhe.

Die Vorteile, die in der Veranstaltung von Spezialkongressen für einzelne Wissenschaftsgruppen liegen, dürften kaum anderswo in dem Maße hervortreten wie im Gebiete der technischen Mechanik. In der Tat sind die Fragestellungen, die hier auftreten, und die Methoden, die zu ihrer Lösung ersonnen worden sind, so eigenartig und schwierig und zugleich in ihrer Gesamtheit für die technischen Wissenschaften so wichtig, daß eine Sonderbehandlung wohl begründet ist. Die bisher abgehaltenen Kongresse — der erste fand 1924 in Delft, der zweite 1926 in Zürich statt — umschlossen einen immer größer werdenden Kreis der auf technischem Gebiete wissenschaftlich arbeitenden Forscher. Und wenn schon früher die Mechanik einen der wichtigsten Grundpfeiler der technischen Wissenschaften gebildet hat, so ist ihre Bedeutung in der Gegenwart sicher noch außerordentlich gewachsen. Immer neue Zweige der Technik bedienen sich ihrer Begriffsbildungen und Methoden, ja sie erwarten offensichtlich von ihr eine intensivere Belebung ihrer eigenen wissenschaftlichen Probleme. So befindet sich die Mechanik heute in einer Periode lebhaftester Entwicklung, von der selbstverständlich auch die übrigen grundlegenden technischen Disziplinen nicht unbeeinflußt geblieben sind; sie beginnt auch die Mathematik selbst zu erfassen, aus der sich allmählich eine technische Mathematik oder mathematische Technik — worunter man die angewandte Mathematik im weitesten Sinne verstehen könnte — zu entwickeln scheint, mit eigenartigen, den Anwendungen angepaßten Problemen und Methoden, von der man noch die schönsten und bedeutungsvollsten Ergebnisse erwarten darf.

Bei dieser Sachlage ist es nicht erstaunlich, daß der III. Internationale Kongreß für technische Mechanik in Stockholm von nahezu 500 Teilnehmern aus 36 Staaten besucht war. Ein schwedisches Organisationskomitee mit Prof. A. F. ENSTRÖM, dem Direktor der königlich schwedischen Akademie der Ingenieurwissenschaften, an der Spitze und mit Prof. E. HJ. W. WEIBULL als Generalsekretär sorgte für eine, bis in alle Einzelheiten geregelte Vorbereitung des Kongresses und der großen allgemeinen Veranstaltungen, von den vor allem der Empfang im Stadthause, einer der interessantesten

Schöpfungen der neuzeitlichen Architektur, gewiß allen Teilnehmern in unvergeßlicher Erinnerung bleiben wird.

Die anläßlich des Kongresses gehaltenen Vorträge, die die stattliche Zahl von 162 aufwiesen, standen durchaus auf beachtlicher wissenschaftlicher Höhe und gaben ein gutes Bild über die mannigfaltigen Arbeitsgebiete, die zur Zeit im Vordergrunde des Interesses stehen. Sie waren in vier Sektionen mit folgender, nicht durchweg vollkommen streng durchgeführter Gliederung eingeteilt:

I. Hydro- und Aerodynamik,
II. Elastizität, Plastizität, Bruch,
III. Stabilität und Schwingungen,
IV. Rationelle Mechanik und Ballistik.

Für jede Sektion war eine Anzahl von allgemeinen Vorträgen als zusammenfassende Referate über größere Teilgebiete vorgesehen. Leider waren diese so angesetzt — und dies war die einzige, weniger glückliche Maßnahme des Organisationskomitees —, daß sie gleichzeitig mit Einzelvorträgen in den anderen Sektionen stattfanden, wodurch diese naturgemäß beeinträchtigt wurden. Ein Auszug aus den Vorträgen wurde jedem Teilnehmer in einem Buche von 242 Seiten eingehändigt; ein zweites, kleineres Büchlein, unterrichtete über Zeit und Ort der sämtlichen vorgesehenen Veranstaltungen, und ein drittes enthielt ein vollständiges Teilnehmerverzeichnis mit den Lichtbildern der sämtlichen Teilnehmer — eine außerordentlich glückliche Neuerung, die allerorten großen Anklang gefunden und die persönlichen Beziehungen sehr gefördert hat. Die Verhandlungen des Kongresses werden ausführlich in einem besonderen Werke veröffentlicht werden.

Zur Kennzeichnung der wissenschaftlichen Arbeiten des Kongresses möge im folgenden der Hauptinhalt der allgemeinen Vorträge angegeben werden, während der der einzelnen Sektionsvorträge nur durch Schlagworte angedeutet werden soll.

Die Sektion I sollte durch einen Vortrag des Vizepräsidenten des Kongresses, Prof. C. W. OSEEN, Upsala, „Über das Turbulenzproblem", eingeleitet werden, der jedoch wegen Erkrankung des Vortragenden ausfallen mußte. Dies war um so bedauerlicher, als die eigenen Arbeiten von Prof. OSEEN in der Theorie der zähen Flüssigkeiten von bahnbrechender Bedeutung geworden sind und sein Vortrag gewiß zu einer besonderen Kundgebung Anlaß geboten hätte. Im Anschluß hieran sei sogleich der wundervolle Vortrag von Prof. TH. v. KÁRMÁN, Aachen, über die Theorie der Turbulenz hervorgehoben, dem es gelang, allein durch Ähnlichkeitsbetrachtungen die Geschwindigkeitsverteilung in einer turbulenten Parallelströmung rein rechnerisch zu ermitteln (vgl. Göttinger Nachr. 1930). Das daraus folgende Widerstandsgesetz ergab eine fast vollkommene Übereinstimmung mit den Messungen, und zwar sowohl für Rohre als auch für ebene Platten.

Ein zweiter allgemeiner Vortrag von F. EISNER, Berlin, „Über das Widerstandsproblem", gab einen zusammenfassenden und vielfach durch eigene Betrachtungen ergänzten Überblick über die zahlreichen Untersuchungen und Ansätze zur Lösung dieses in gleichem Maße in die theoretische Hydrodynamik als auch für die praktische Hydraulik grundlegenden Problems. Der dritte Vortrag von L. BAIRSTOW, London, brachte in ähnlicher Allgemeinheit eine Übersicht „Über die Theorie der Luftschrauben" in ihrer gesamten Entwicklung bis zum Autogyro des Spaniers de la Cierva.

Die Sektionsvorträge beschäftigten sich außer mit Einzelfragen aus diesen Gebieten noch mit besonderen Strömungs- und Widerstandsproblemen, der Strömung in Turbinen und Kreiselrädern, dem Winddruck auf Gebäuden, sowie mit einer Reihe von flugtechnischen Sonderproblemen. Besonderes Interesse erweckte in dieser Sektion die Vorführung des hydrodynamischen Films durch Prof. L. PRANDTL, Göttingen, der wieder durch neue, außerordentlich instruktive Bilderreihen ergänzt wurde und ein besonders lehrreiches Hilfsmittel zum Studium der vom Vortragenden geschaffenen fundamentalen Anschauungen darstellt.

Aus der zweiten Sektion ist vor allem der Vortrag von Prof. R. v. MISES, Berlin, „Über die bisherigen Ansätze in der klassischen Mechanik der Kontinua", hervorzuheben. Dieser Vortrag entwarf ein außerordentlich anschauliches Bild der verschiedenen Ansätze, die bisher zur theoretischen Kennzeichnung der elastischen und plastischen Körper eingeführt wurden, und über die Tragweite der aus diesen Ansätzen zu gewinnenden Folgerungen. Außer dem idealelastischen Körper der gewöhnlichen Elastizitätstheorie — den man wohl den HOOKEschen Körper nennen könnte — wird der „VOIGTsche" und der „SAINT-VENANTsche" Körper definiert, und es werden die verschiedenen aus diesen Definitionen zu gewinnenden Erweiterungen besprochen, die ihre eigentliche Bedeutung allerdings meist erst in der mehrdimensionalen Auffassung der bezüglichen Probleme erhalten.

Der zweite allgemeine Vortrag in dieser Sektion, von Prof. W. TAFEL, Breslau, betraf dessen Arbeiten „über die pastische Verformung und den Fließ-, Verfestigungs- und Bruchvorgang beim Zerreißversuch". Diese Arbeiten hatten zunächst den Zweck, eine qualitative Anwendung der Theorie der plastischen Verformung auf die Vorgänge bei der Verarbeitung der Metalle, insbesondere beim Walzvorgange, zu geben und diese Verformungen messend zu verfolgen; besonders lehrreich ist z. B. der Einblick, den man dabei über die Spannungsverteilung über den Querschnitt beim Fortschreiten des Fließens bis zum Bruch gewinnt. Mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt sich auch der dritte Vortrag von M. ROŠ und A. EICHINGER, Zürich, über deren neue „Versuche zur Klärung der Frage der Bruchgefahr".

Die Einzelvorträge in dieser Sektion betrafen vor allem Sonderprobleme aus der technischen Elastizitäts- und Festigkeitslehre, der Metallkunde, der Materialprüfung und der Theorie des Bodens; weiter Deformationsmessungen durch photogrammetrische und optische Methoden, über die mathematische Theorie der Plastizität, der Spaltenbildung bei Gletschern u. dgl.

Die dritte Sektion brachte einen inhaltsreichen Vortrag von Prof. S. TIMOSHENKO, Michigan, über Stabilität und Spannungen in dünnwandigen Konstruktionen mit einer eingehenden Darstellung der durch den Vortragenden selbst entwickelten Methoden zur Berechnung der Knicklasten von Platten, Säulen mit röhrenförmigen und profilierten Querschnitten, zur Ermittlung des Einflusses von Verstärkungen und Rippen — Fragen von weitreichender theoretischer und praktischer Bedeutung.

Weiter ist zu nennen der Vortrag von Prof. M. PANETTI, Turin, über die Schwingungen von Fahrzeugen mit lehrreichen Lichtbildern über die Schwingungsvorgänge bei Eisenbahnfahrzeugen und Kraftfahrzeugen. Der dritte Vortrag, von E. B. MOULLIN, Oxford, beschäftigte sich mit den im Schiffbau auf-

tretenden Schwingungserscheinungen. Der vierte, von E. MICHEL, Hannover, „Über Raumakustik", berichtete über die Verwertung der für die Schallausbreitung geltenden Gesetze auf die Gestaltung und Verkleidung der Innenräume; für akustische Räume ergibt sich dabei insbesondere die Notwendigkeit, hohl gewölbte Flächen zu vermeiden, da sich diese, was durch oszillographische Schallaufnahmen auch objektiv festgestellt werden kann, wegen des bei diesen auftretenden Nachhalls als ungünstig erweisen. Wichtig ist ferner die Verwendung von Verkleidungsmaterialien mit guter Resonanz in der Nähe der Schallquelle und mit großer Schalldämpfungsfähigkeit im Hintergrunde.

Die Einzelvorträge behandelten vor allem Probleme aus der Lehre von den Schwingungen elastischer Systeme verschiedener Art und ihrer Messung, wie auch der verschiedenen möglichen Erweiterungen der allgemeinen Theorie. Ferner die Theorie der elastischen und plastischen Knickung und Kippung von verschiedenen Systemen, wie Stäben, Platten, Schalen u. dgl., unter verschiedenen Bedingungen. Endlich sonstige, der allgemeinen Elastizitätstheorie angehörige Probleme.

Die vierte Sektion enthielt als allgemeinen Vortrag ein Referat von R. VICOMTE D'ADHÉMAR, Paris, über die Pendelbewegung rotierender Geschosse.

Die Einzelvorträge in dieser Sektion beschäftigten sich — ohne Gruppierung um bestimmte Themen — mit den verschiedensten Gegenständen aus der analytischen und technischen Statik und Dynamik, einschließlich ihrer experimentellen Methoden: Schwingungen von Flugzeugen, Luftschrauben, Theorie des Schiffes, Massenausgleich rotierender Systeme, Fahrzeuge, Theorie der Reibung, Ballistik, Ähnlichkeitsmechanik, Theorie der Bogenträger usw.

Aus diesem naturgemäß nicht mehr als schlagwortartigen Überblick über den wissenschaftlichen Inhalt mag man ersehen, wie reich und mannigfaltig die Gegenstände sind, auf die sich die Interessen des Kongresses erstreckten. Freilich muß jeder solchen Übersicht der Pulsschlag des Lebens fehlen, der sich erst durch das Eindringen in die leitenden Ideen und in die wundervollen theoretischen Methoden einstellt, über die diese Wissenschaft heute schon verfügt, und die mehr als je den alten Ausspruch bestätigen, daß die Mechanik das Paradies der Mathematiker ist.

Der nächste Kongreß ist für 1934 nach Cambridge (England) eingeladen.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *Zuschriften* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer raschen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken. Bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Über die Häufigkeitszahlen der Elemente und das Vorhandensein einer Kernperiodizität.

(Zum Artikel I. und W. NODDACK in Heft 35.)

Ungefähr gleichzeitig mit der zitierten Arbeit erschien von R. A. SONDER eine Abhandlung, betitelt: Über die Häufigkeitszahlen der Elemente und die Existenz eines neuen periodischen Systems (Z. anorg. Chem. **192**, H. 3). In dieser Arbeit wurde an Hand theoretischer Überlegungen nachgewiesen, daß ein Teil der bisherigen Häufigkeitsschätzungen der Elemente sehr unwahrscheinlich war, und gleichzeitig gezeigt, wie sich die wahrscheinlichen Häufigkeitszahlen ohne weitere Analysen theoretisch annähernd bestimmen lassen. Es ist nun sehr interessant, daß diese beiden Arbeiten, welche von ganz verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen, teilweise überraschend genau gleiche Resultate zeitigten.

Die angegebenen Zahlen sind atomare Verhältniszahlen und beziehen sich auf eine Einheit von Sauerstoff $= 1{,}83 \cdot 10^{10}$, weil diese Einheit eine relativ einfache Analysenumrechnung ermöglicht,

$$\left(\frac{\text{Häufigkeitszahl} \cdot \text{Atomgewicht}}{10^{10}} = \text{Gewichtsprozente}\right).$$

Angesichts der möglichen Fehlerquellen kann man sowieso nur erwarten, daß die Größenordnung der Potenzen bei diesen Schätzungen festgelegt werden können, so daß also die Übereinstimmung bei diesen Werten, welche gegenüber früheren Schätzungen die stärksten Korrekturen erfahren haben, meist als sehr gut zu bezeichnen ist.

Was die Feststellung von I. und W. NODDACK anbelangt, daß die revidierten Häufigkeitszahlen eine „unerwartete" Periodizität erkennen lassen, so dürfte dies nicht ganz stimmen, wie meine zitierte Arbeit beweist, welche auch die Literaturangaben über die Vorgeschichte der dortigen Ergebnisse enthält. So findet sich im Jahrgang 1921 dies. Z. ein Artikel von P. NIGGLI, Das Magma und seine Produkte, welcher auf eine periodische Funktion der häufigsten Elemente von Ordnungszahl 1—26 hinweist. 1922 entwickelte SONDER, auf diesen und anderen Anhaltspunkten fußend, eine raumgeometrische Bautheorie der Atomkerne, welche zur Feststellung führte, daß nach den damals bekannten Daten für den Bau der Atomkerne bestimmte Strukturperioden wahrscheinlich wurden, deren genaue Lage sich für den gesamten Ordnungszahlbereich berechnen ließ und welche Strukturperioden in entsprechenden Variationen der Häufigkeitszahl sich ausdrücken mußten.

Element	Bisherige Schätzungen	SONDER	I. und W. NODDACK
Sc. . . .	$2 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Zn . . .	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
Ga. . . .	$2 \cdot 10$	$8 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$
Ge . . .	$3 \cdot 1$	$8 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Se. . . .	$4 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$
Ma . . .	—	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10$
Ru . . .	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$
Rh . . .	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
Pd . . .	$6 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
In. . . .	$9 \cdot 10$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$
Te. . . .	$6 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Re . . .	—	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$
Os. . . .	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
Ir	$3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^3$
Pt. . . .	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^4$
Tl. . . .	$5 \cdot 10$	$5 \cdot 10$	$5 \cdot 10^2$

(Zahlen berechnet nach dem Prinzip, das in meiner zitierten Arbeit angeführt ist.)

Die vagen Angaben und Anhaltspunkte über die Häufigkeit der Elemente mit größerer Ordnungszahl als 28 waren damals allerdings mehr nur eine Andeutung, daß dies so sein könnte. Die seitherige starke Entwicklung der Geochemie hat es aber immer wahrscheinlicher

gemacht, daß die Perioden im höheren Elementbereich tatsächlich vorhanden sind. Einen wichtigen Schritt nach vorwärts bedeuten nun die in dieser Zeitschrift erstmalig veröffentlichten Resultate von I. und W. NODDACK, indem sie endlich einen nun schon sehr konkreten analytischen Nachweis des Periodizitätsgesetzes bringen. Berechnet man die neue analytische Häufigkeitskurve nach meinen Angaben aus dem NODDACKschen Zahlenmaterial, so wird die Übereinstimmung der theoretisch von mir berechneten Häufigkeitskurve in der zitierten Arbeit mit den NODDACKschen Resultaten noch auffälliger.

Die Tatsache, daß die Existenz dieser Häufigkeitsperiode von Fe bis U (welche für I. und W. NODDACK und sicher für viele Chemiker und Physiker auch heute noch ein „unerwartetes" Ergebnis bilden) bereits 1922 an Hand einer bestimmten Theorie vorausgesagt und berechnet werden konnten, rückt diese Theorie heute in den Vordergrund, denn eine entsprechende Leistung hat wohl keine andere der vielen Kerntheorien und Kernhypothesen zu verzeichnen [R. A. SONDER, Zum Bau der Atomkerne, Z. f. Krystall. 57 (1923)]. Damit, und dies dürfte eine nicht unwichtige Konsequenz der NODDACKschen Analysen sein, eröffnen sich neue Wege der Atomforschung, denn das Arbeitsprinzip der fraglichen Theorie ist ein ganz anderes als die Wege, welche den bisherigen Arbeitsmethoden der Kernphysik zugrunde liegen.

Zürich, den 4. Oktober 1930.

R. A. SONDER.

Zur Abwehr. Das August-Heft der ZEITSCHRIFT FÜR ELEKTROCHEMIE enthält einen gegen DIE NATURWISSENSCHAFTEN gerichteten Aufsatz von A. THIEL in Marburg: EIN BEITRAG ZUM KAPITEL: NIEDERGANG DES SPRACHGEFÜHLES. Der Aufsatz wurzelt in zwei kleinen Zuschriften: *Molekel oder Molekül?*, die DIE NATURWISSENSCHAFTEN veröffentlicht haben — auf Wunsch des Verfassers, eines bekannten und angesehenen Mannes, ohne Namensnennung. Der Aufsatz des Herrn THIEL spricht von einem „Überrumpelungsversuch der NATURWISSENSCHAFTEN (vermutlich also ihrer Schriftleitung), gegen den *nicht scharf genug Verwahrung eingelegt werden kann*". Obwohl sich der Aufsatz schon aus dieser Wendung, aber auch aus anderen ebenso deutlichen als feindselig kennzeichnet, hat es der Herausgeber der ZEITSCHRIFT FÜR ELEKTROCHEMIE unterlassen, dem Unterzeichneten Gelegenheit zu geben, sich vor der Veröffentlichung dazu zu äußern. Tatsächlich hat der Unterzeichnete erst kürzlich, d. h. erst nach drei Monaten, Kenntnis davon erhalten. Das ist, um mit Herrn THIEL zu reden, ein Überrumpelungsversuch der ZEITSCHRIFT FÜR ELEKTROCHEMIE (vermutlich also ihrer Schriftleitung), gegen den *nicht scharf genug Verwahrung eingelegt werden kann*. Er ist EIN BEITRAG ZUM KAPITEL: NIEDERGANG DES SCHICKLICHKEITGEFÜHLES.

Der Herausgeber der NATURWISSENSCHAFTEN.

Besprechungen.

E. GUYENOT, **La variation et l'évolution. Tome I. La variation.** Paris: Gaston Doin & Cie. 1930. XXVIII, 457 S. und 46 Abb. Preis Frcs. 32.—.

Nachdem GUYENOT in einem Bande der groß angelegten „Encyclopédie scientifique" einen Abriß der Vererbungslehre gegeben hat, behandelt er in seinem neuen, auf zwei Bände berechneten Werke die Variationen und die Evolution der Organismen. Der erste Band, der sich mit den Variationen beschäftigt, liegt jetzt vor. Er bringt in seinem Hauptteil eine sehr sorgfältige und gut durchdachte Schilderung der erblichen Variationen im Pflanzen- und Tierreich. In zwei Teilen werden die „Faktorenmutationen" und die „Chromosomenmutationen" besprochen. Einer weitgehenden, aber niemals ermüdenden Aufzählung der bei den verschiedensten Organismen angetroffenen Faktorenmutationen folgen allgemeine Deduktionen über die Natur der Mutationen sowie über ihre experimentelle Auslösbarkeit. Ein sehr großes Tatsachenmaterial ist hier aus der verstreuten genetischen Literatur zusammengetragen und verarbeitet worden. (Auffällig ist ein an sich nebensächlicher Punkt, die vorbehaltlose Wiedergabe der oft bezweifelten Versuche TOWERS.)

Die Abschnitte über „Chromosomenmutationen" bringen eine kurze Beschreibung des normalen Chromosomenmechanismus, eine Behandlung der Polyploidie, ihrer Wirkungen und der verschiedenen Möglichkeiten ihrer Entstehung, und eine Behandlung der Heteroploidie („polysomische Mutation"), in der sich eine sorgfältig abgewogene, wohl mit Recht positive Besprechung der *Datura*-Versuche BLAKESLEES und ihrer Deutung durch BELLING findet. Zu diesem Abschnitt gehört auch ein Kapitel über Chromosomenaberrationen, worunter der Verfasser nur aberrante Einzelchromosomen (Chromosomenanheftungen oder -fragmentationen, Faktorenausfälle u. a.), nicht aber aberrante Chromosomensätze versteht. Ferner wird unter der Chromosomenmutation in einem besonderen Kapitel die Genetik der Oenotheren behandelt. Dieses Kapitel scheint mir durch seine Klarheit besonders hervorzuragen und vermittelt einen sehr starken Eindruck von den großen Fortschritten, die die Erforschung dieses besonders schwierigen Objektes, insbesondere durch RENNERS Untersuchungen, gemacht hat. Es ist nur zu bedauern, daß bei Abschluß des Manuskriptes nicht schon die neuen cytologisch-genetischen Untersuchungen vorlagen, die von verschiedenen Forschern auf Grund der BELLINGschen Theorie angestellt wurden und eine Antwort auf einen wichtigen Teil der bisher noch offenen Fragen zu geben versprechen.

Schon in den beiden ersten Teilen wird die Bedeutung der verschiedenen Mutationstypen für die Evolution erörtert. In einem kürzeren dritten Teil erfolgt eine weitere Verknüpfung mit den Evolutionsproblemen, die im zweiten Bande behandelt werden sollen. Dieser Teil enthält einen Abriß der fluktuierenden Variabilität und der JOHANNSENschen Untersuchungen über reine Linien und die genetische Diskontinuität der Organismen.

Abgesehen von einer Anzahl wohl unvermeidlicher Irrtümer und einer allzu großen Beschränkung an Abbildungen und Schemata, bedeutet das Buch eine wesentliche Bereicherung der Literatur. Hoffentlich regt es außerdem auch die Landsleute GUYENOTS an, sich in stärkerem Maße als bisher an genetischen Forschungen zu beteiligen.

CURT STERN, Berlin-Dahlem.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.